

KARAKTERISTIK KIMIA PAPARAN PARTIKULAT TERESPIRASI**Noneng Dewi Zannaria¹, Dwina Roosmini², Muhayatun Santoso³**^{1,2)} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung

³⁾ Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri-BATAN Bandungzannaria@yahoo.com¹⁾, droosmini@bdg.centrin.net.id²⁾, hayat@bdg.centrin-net.id³⁾**ABSTRAK**

KARAKTERISTIK KIMIA PAPARAN PARTIKULAT TERESPIRASI. Partikulat terespirasi adalah partikulat dengan ukuran 2-5 μ m yang karena sifat aerodinamiknya dapat masuk ke dalam saluran pernafasan dan terdeposit dalam paru-paru serta merusak alveoli sehingga membahayakan kesehatan manusia. Dinas Kesehatan kota Bandung mencatat bahwa ada kecenderungan peningkatan angka kejadian penyakit infeksi saluran pernafasan akut (ISPA) setiap tahun di kota Bandung. Pengukuran PM₁₀ pada periode tahun 2002-2005 yang dilakukan oleh BPLH Kota Bandung menunjukkan bahwa di beberapa lokasi ambang batas baku mutu harian untuk PM₁₀ telah dilampaui. Penelitian ini mencoba untuk mengetahui paparan partikulat terespirasi pada masyarakat dengan melakukan karakterisasi unsur-unsur kimia yang terkandung di dalamnya sebagai bentuk identifikasi bahaya. Penelitian dilakukan di empat kawasan di kota Bandung. Pengambilan sampel partikulat terespirasi dilakukan menggunakan personal sampler. Karakterisasi kimia dilakukan menggunakan metode analisis aktivasi neutron, spektrometri serapan atom dan reflektansi. Hasil identifikasi dan karakterisasi tersebut digunakan untuk menghitung nilai IEC (Inhalation Exposure Concentration) sebagai estimasi paparan partikulat terespirasi yang terhirup selama kurun waktu tertentu. Tahap tersebut merupakan tahap awal dari studi epidemiologi yang mengkaitkan kejadian penyakit saluran pernafasan dengan hasil identifikasi dan karakterisasi partikulat terespirasi. Unsur-unsur kimia yang diidentifikasi adalah unsur Br, Mn, Al, I, V, Cl, Ti, Na, Hg, Pb, dan black carbon (BC). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa partikulat terespirasi yang dihirup oleh penduduk sebagai reseptor di kawasan Tegalega, Aria Graha, Dago Pakar, dan Cisaranten Wetan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi PM_{2.5} udara ambien di lokasi yang sama. Kawasan industri Cisaranten Wetan mempunyai konsentrasi tertinggi untuk sebagian besar unsur-unsur yang terkandung dalam partikulat terespirasi.

Kata kunci : Paparan, partikulat terespirasi, reseptor, unsur-unsur kimia

ABSTRACT

CHEMICAL CHARACTERISATIC OF RESPIRABLE PARTICULATES. Respirable particulates are particulates which having diameter size at 2-5 μ m, due to aerodinamically may be inhaled through respiratory tract and having ability to deposit into lungs, causing damage of the alveolar tissues and inducing health problems. Health Departement of Bandung have reported that prevalency of acute respiratory tract infection disease having increasing tendency every year. Meassurement of PM₁₀ in period of 2002-2005 have done by BPLH Bandung city which pointed that in some places the concentration of PM₁₀ was higher than daily threshold limit values. This research having intend to understand of respirable particulates exposure in society with characterization of chemical materials contained as hazard identification. Location of research have done in four regions of Bandung City. Personal sampler has used for collection of respirable particulates from human breathing zone. Chemical characteristic were done using neutron activation analysis, atomic absorption spectrometer and reflectance methodes. The useful of this procedur as the baseline to calculate IEC (Inhalation exposure Concentration) values for estimate the exposure of respirable partiulates which inhaled during period of time. Calculating of IEC is the earlier step from epidemiological study or risk assessment which connecting prevalency of tract respiratory disease with characteristic of respirable particulates. Elements Br, Mn, Al, I, V, Cl, Ti, Na, Hg, Pb, and black carbon (BC), are

the elements which identified. The results showed that respirable particulates which inhaled by citizen as reseptor at Tegalega, Aria Graha, Dago Pakar, and Cisaranten Wetan are relatively higher than $PM_{2.5}$ ambient air at the same places. Almost whole of such elements which contained in respirable paticulates was found in highest concentration at Cisaranten Wetan.

Key words : Chemical elements, exposure, reseptor, respirable particulates

1. PENDAHULUAN

Particulate matter (PM) adalah salah satu parameter polutan di udara (1). Unsur partikulat ini dapat mempengaruhi kesehatan manusia sebagai reseptor terutama menyebabkan gangguan pada sistem respirasi. Masuknya partikulat ke dalam sistem respirasi manusia dipengaruhi ukuran partikulat. Ukuran partikulat yang dapat masuk ke dalam sistem respirasi adalah kurang dari 10 μm dengan spesifikasi sebagai berikut (2) :

- Ukuran 5 - 10 μm akan mudah tersaring secara fisik oleh rambut-rambut halus dalam rongga hidung
- Ukuran 2 - 5 μm akan terendapkan di alveoli
- Ukuran < 2 μm akan mudah masuk ke dalam saluran respirasi dan akan mudah keluar kembali bersama udara ekspirasi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menghubungkan antara paparan polutan partikulat terespirasi dengan beberapa kejadian penyakit saluran pernafasan. Seperti yang dilakukan oleh Mutius *et al.* di Jerman Timur (3), bahwa peningkatan konsentrasi partikulat, SO_2 , NO_x , serta kombinasi antara ketiganya di udara ambien berhubungan dengan peningkatan risiko anak-anak mengidap penyakit saluran pernafasan bagian atas dan asma.

Bandung adalah salah satu kota besar di Indonesia dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi setiap tahunnya. Aktivitas penduduk kota Bandung beragam mulai dari sektor pertanian, perkebunan, pendidikan, hingga sektor industri dan transportasi. Aktivitas tersebut menghasilkan polutan termasuk emisi polutan ke udara yang menimbulkan pencemaran udara, dan pada akhirnya dapat mempengaruhi kesehatan manusia serta menimbulkan penyakit yang salah satunya berhubungan dengan saluran pernafasan.

Penelitian mengenai pencemaran udara Kota Bandung yang berkaitan dengan partikulat telah dilakukan oleh Santoso *et al.* (4). Hasil penelitian tersebut menyebutkan adanya peningkatan rata-rata konsentrasi tahunan untuk PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dari tahun 2004 ke tahun 2005. Hasil pengukuran pada periode tahun 2002-2005 yang dilakukan oleh BPLH Kota Bandung menunjukkan bahwa di beberapa lokasi ambang batas baku mutu harian untuk PM_{10} telah dilampaui, baik di lokasi perumahan, perkantoran dan perdagangan, ruang terbuka hijau, dan terminal (5).

Profil kesehatan kota Bandung pada tahun 2004 menyebutkan bahwa lebih dari dua pertiga bayi menderita gangguan penyakit infeksi saluran pernafasan akut (ISPA). Penelitian mengenai kadar timbal

dalam darah menghasilkan bahwa nilai rata-rata konsentrasi timbal dalam darah anak-anak dari 40 Sekolah Dasar yang tersebar di 25 kecamatan di Kota Bandung sebesar 14,13 $\mu\text{g/dl}$. Angka tersebut telah melebihi ambang batas konsentrasi timbal dalam darah yaitu sebesar 10 $\mu\text{g/dl}$. Kondisi tersebut menunjukkan tingkat pencemaran timbal yang berbahaya di Kota Bandung [5].

Merujuk pada hasil-hasil penelitian tersebut maka perlu dilakukan analisis paparan partikulat terespirasi terhadap masyarakat sebagai reseptor dari pencemaran udara, mengingat setiap unsur kimia tersebut mempunyai potensi bahaya bagi fungsi fisiologis tubuh. Data mengenai karakteristik partikulat terespirasi yang memapari masyarakat sebagai reseptor, khususnya untuk pemantauan perorangan belum banyak dilakukan. Sistem monitoring kualitas udara pada umumnya dilakukan dengan mengukur pencemaran udara ambien. Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data paparan pencemaran udara pada manusia dan menjadi dasar studi epidemiologi dalam kaitannya dengan kondisi kesehatan masyarakat, sehingga dapat menjadi masukan bagi pengambil keputusan untuk kesehatan lingkungan dan masyarakat, khususnya di Kota Bandung.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung dalam partikulat terespirasi. Selain itu penelitian ini diharapkan juga dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi lahan terhadap karakterisasi dan identifikasi polutan partikulat terespirasi serta sebagai analisis awal studi paparan partikulat terespirasi

terhadap reseptor.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi pengambilan sampel partikulat udara dilakukan di empat lokasi yang berbeda di kota Bandung. Lokasi-lokasi tersebut adalah Aria Graha yang mewakili kawasan pemukiman; Cisaranten Wetan, mewakili kawasan industri; Tegalega mewakili kawasan keramaian transportasi; Dago Pakar, mewakili kawasan bersih (sebagai lokasi kontrol). Penentuan lokasi berdasarkan kepada perbedaan tataguna lahan dengan asumsi bahwa dengan perbedaan lokasi penggunaan lahan dapat terlihat perbedaan sumber polutan, sehingga jenis partikulat yang memapari masyarakat di lokasi tersebut berbeda. Disamping itu penentuan titik juga disesuaikan dengan lokasi stasiun tetap yang dipergunakan oleh BPLHD provinsi Jawa Barat untuk memantau kualitas udara kota Bandung. Pengambilan sampel dilakukan dua hari dalam satu minggu di setiap lokasi dengan perbedaan hari berdasarkan aktivitas keramaian. Adanya perbedaan aktivitas dan keramaian pada waktu-waktu tersebut diperkirakan dapat membuat perbedaan paparan polutan pada masyarakat.

Alat yang dibutuhkan dalam proses pengambilan sampel partikulat terespirasi adalah *Hi Flow Personal Sampler Pump* Gilian HFS-513A yang dilengkapi dengan filter *Mixed Cellulose Ester* (MCE) diameter 25 mm, kerapatan 0,8 μm , dan SKC aluminium cyclone 225-01-01/02. Alat tersebut dipasang pada responden selama 8 jam kerja sesuai dengan aktivitas responden

dan kemampuan alat. Responden adalah orang-orang yang melakukan kegiatan dan berada pada lokasi tersebut sepanjang hari seperti pengamen, pedagang kaki lima, pemilik warung-warung, satpam, tukang becak, dan tukang kebun dengan pertimbangan responden tersebut bekerja di area terbuka sehingga berpotensi maksimum terpapar polutan partikulat terespirasi. Responden yang dipilih adalah orang-orang yang tidak merokok atau yang dipastikan tidak akan merokok selama dipasang alat. Pengambilan sampel dilakukan dalam dua kategori hari yaitu hari kerja dan akhir pekan. Partikulat terespirasi kemudian dianalisis menggunakan analisis gravimetri untuk mengetahui konsentrasi dari partikulat terespirasi tersebut. Analisis dilanjutkan untuk mengetahui komposisi dan konsentrasi tiap-tiap unsur yang terkandung dengan INAA (*instrumental neutron activation analysis*) untuk unsur logam selain Pb dan Hg, AAS (*atomic absorption spectrophotometry*) untuk unsur Pb dan Hg, serta *EEL smokestain reflectometer* untuk analisis *black carbon* (BC) sehingga diperoleh karakteristik dan komposisi partikulat terespirasi baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Data primer yang diperoleh dikuantifikasi dengan diuji secara statistik. Metode analisis faktor digunakan untuk memperkirakan sumber yang berkontribusi mengemisikan partikulat. *Software* yang digunakan adalah SPSS ver.11.5. Interpretasi dilakukan terhadap hasil yang diperoleh didasarkan atas unsur-unsur penanda pada profil sumber yang dikeluarkan oleh US EPA dan dilengkapi

dengan literatur-literatur lain serta hasil penelitian terdahulu mengenai karakterisasi partikulat.

Analisis paparan partikulat terhadap manusia dilakukan dengan perhitungan nilai IEC (*inhalation exposure concentration*). Perhitungan nilai IEC dilakukan sebagai gambaran awal untuk mengetahui potensi paparan dari unsur-unsur kimia terhadap manusia melalui jalur inhalasi di lingkungan umum (udara ambien), dengan menggunakan persamaan berikut (6):

$$IEC = Ca \times \frac{ET}{24} \times \frac{EF}{365} \times \frac{ED}{70} \times BIO$$

Keterangan:

- IEC : *Inhalation exposure concentrations* atau konsentrasi paparan melalui inhalasi (mg/m³)
 Ca : Konsentrasi unsur kimia di udara (mg/m³)
 ET : Waktu paparan (jam/hari)
 EF : Frekuensi paparan (hari/tahun)
 ED : Durasi terpapar (tahun)
 BIO : Faktor *bioavailability* = 1,0

Dalam perhitungan IEC, waktu paparan ET yang digunakan untuk seluruh lokasi adalah 8 jam disesuaikan dengan rata-rata aktivitas di luar ruangan dari penduduk di keseluruhan lokasi. Frekuensi paparan (EF) yang digunakan adalah 365 hari, sedangkan durasi terpapar (ED) adalah selama 67,8 tahun yang merupakan rata-rata usia harapan hidup penduduk Indonesia baik laki-laki maupun perempuan pada periode 2000-2005 (7).

Hasil dari perhitungan IEC merupakan gambaran yang akan merujuk pada estimasi

rata-rata paparan polutan partikulat terespirasi pada masyarakat selama kurun waktu tersebut. Dengan demikian dapat dijadikan sebagai dasar untuk studi epidemiologi dengan menghubungkannya dengan data kejadian penyakit saluran pernafasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi paparan partikulat terespirasi pada empat lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. Rentang konsentrasi paparan partikulat terespirasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan selisih tertinggi untuk hari kerja diperoleh di Aria Graha yaitu sebesar 134,55 dan terendah diperoleh di Dago Pakar sebesar 40,43. Untuk akhir pekan selisih paparan tertinggi diperoleh di Cisaranten Wetan yaitu sebesar 83,95 dan terendah di Dago Pakar sebesar 25,18. Adanya rentang konsentrasi tersebut dapat disebabkan oleh berbagai hal diantaranya aktivitas responden, posisi responden, dan jarak dengan sumber pencemar. Responden di Dago Pakar relatif mempunyai aktivitas yang sejenis, yaitu penjaga Tahura dan tukang kebun, selain itu lokasi antara responden juga relatif berdekatan sehingga paparan yang diperoleh relatif tidak jauh berbeda. Di Aria Graha aktivitas objek sampling diantaranya sebagai satuan pengamanan, tukang becak, dan tukang gorengan. Masing-masing mempunyai posisi

yang berbeda-beda sehingga paparan partikulat yang diperoleh juga relatif berbeda.

Pada umumnya responden yang berada di areal depan kompleks perumahan terpapar partikulat terespirasi lebih banyak karena bagian depan berbatasan langsung dengan jalan raya Soekarno-Hatta. Di Cisaranten Wetan, kondisi yang terjadi tidak jauh berbeda dengan di Aria Graha. Diperkirakan aktivitas dan posisi yang berbeda antara tukang kebun dan satpam cukup berpengaruh dalam paparan partikulat yang diterima. Tukang kebun relatif berada dalam posisi yang sama sepanjang hari sedangkan satpam bertugas berkeliling ke seluruh wilayah kompleks perumahan sehingga paparan yang diterima dapat lebih tinggi. Rata-rata konsentrasi paparan partikulat terespirasi tertinggi diperoleh di Tegalega pada hari kerja yaitu sebesar $83,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan di Cisaranten Wetan pada akhir pekan sebesar $75,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal tersebut dapat terjadi karena di Tegalega dipengaruhi berbagai aktivitas diantaranya aktivitas transportasi, kegiatan bengkel las, pengrajin kusen, serta aktivitas lainnya yang cukup banyak ditemui di sekitar kawasan tersebut, sedangkan di Cisaranten wetan kemungkinan dipengaruhi oleh berbagai aktivitas industri seperti industri furniture, pemintalan benang, barang logam, dan makanan.

Tabel 1. Konsentrasi paparan partikulat terespirasi

No	Lokasi	Rentang Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Rata-rata Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Hari kerja	Akhir pekan	Hari kerja	Akhir pekan
1	Tegalega	48,97 – 107,72	39,70 – 79,63	$82,38 \pm 19,50$	$56,98 \pm 12,36$
2	Aria Graha	22,58 – 157,13	43,03 – 110,49	$67,93 \pm 34,84$	$61,75 \pm 21,73$
3	Dago Pakar	21,30 – 61,73	37,65 – 62,83	$51,30 \pm 12,39$	$51,27 \pm 8,41$
4	Cisaranten wetan	26,85 – 104,63	24,38 – 108,33	$72,65 \pm 27,54$	$75,89 \pm 31,26$

Rata-rata konsentrasi terendah diperoleh di Dago Pakar baik pada hari kerja maupun akhir pekan yaitu sebesar 51,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 51,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan aktivitas antropogenik yang cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan kawasan lainnya. Perbedaan hari kerja dan akhir pekan tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap paparan partikulat terespirasi yang diperoleh di ketiga lokasi lainnya selain di Tegalega. Hal ini dapat terjadi karena selain aktivitas transportasi, di kawasan tersebut terdapat kegiatan-kegiatan lain seperti bengkel las, pengrajin kusen yang lebih aktif beroperasi pada hari kerja. Disamping itu di kawasan tegalega terutama di sekitar jalan BKR dan jalan Moh. Toha terdapat aktivitas perkantoran, sehingga mempengaruhi adanya jumlah kendaraan bermotor yang relatif lebih tinggi karena keluar masuk kawasan perkantoran.

Perbedaan paparan yang diterima dapat juga disebabkan karena posisi sebagai perokok pasif. Koistinen menyebutkan bahwa asap rokok adalah salah satu faktor kuat yang mempengaruhi paparan perseorangan untuk $\text{PM}_{2,5}$ (8). Perokok aktif akan terpapar $\text{PM}_{2,5}$ hampir tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak merokok dan tidak terpapar asap rokok. Perokok pasif akan terpapar $\text{PM}_{2,5}$ dua kali lebih besar dibandingkan dengan yang tidak merokok dan tidak terpapar asap rokok. Meskipun demikian perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai hubungan paparan asap rokok dan paparan partikulat terespirasi termasuk komposisi yang terkandung di dalamnya (8).

Unsur-unsur yang diidentifikasi dari partikulat terespirasi di keempat lokasi adalah unsur Br, Mn, Al, I, V, Cl, Na, Pb, Hg, black carbon (BC). Khusus di Cisaranten Wetan, pada hari kerja teridentifikasi unsur Ti yang tidak teridentifikasi di lokasi lain. Kehadiran unsur Ti ini dapat dikaitkan dengan adanya kegiatan pembongkaran tanah karena unsur Ti merupakan salah satu penanda dari tanah (4). Kegiatan pembongkaran tanah terkait dengan tahap pembangunan beberapa cluster di kawasan Cisaranten Wetan khususnya di sekitar Pinus Regency yang lebih aktif beroperasi pada hari kerja. Konsentrasi unsur-unsur dalam partikulat terespirasi disajikan pada Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Analisis faktor merupakan suatu teknik reduksi data [9]. Teknik ini merupakan sekelompok prosedur untuk menyisihkan data yang melimpah dari suatu set variabel-variabel yang berkorelasi dan merepresentasikan variabel-variabel tersebut dengan variabel baru yang lebih kecil, yang disebut faktor (10). Analisis interpretasi sumber terhadap hasil yang diperoleh dari analisis faktor didasarkan pada besarnya nilai loading tiap-tiap unsur/senyawa terhadap faktor baru yang terbentuk. Nilai loading dapat diartikan sebagai koefisien korelasi antara variabel dengan faktor (9). Nilai loading yang lebih besar dari 0,5 dianggap signifikan meskipun nilai yang lebih kecil masih dapat berpengaruh terhadap sumber (10).

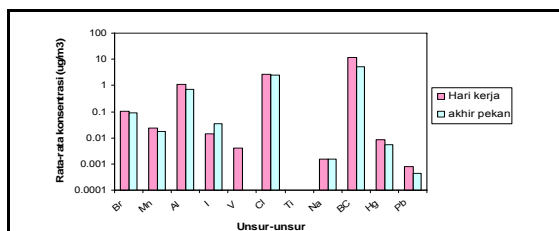
Berdasarkan analisis faktor, diperoleh kemungkinan sumber yang diperkirakan berpengaruh dalam mengemisikan unsur-

unsur tersebut ke udara. Sumber pencemar yang diperkirakan berpengaruh terhadap paparan partikulat terespirasi di kawasan Tegalega adalah campuran unsur tanah dan unsur garam laut (Al, Mn, Cl, Na), kendaraan bermotor (Pb, Hg), dan pembakaran biomassa (BC, Cl). Unsur Hg dapat berasal dari bahan bakar fosil. Salah satu bahan bakar fosil tersebut adalah bahan bakar minyak seperti bensin dan solar meskipun kandungan dalam produk-produk hasil sampingan minyak bumi ini relatif kecil (11). Unsur Pb juga merupakan penanda dari sumber kendaraan bermotor. Unsur Pb digunakan untuk menaikkan angka oktan sebagai upaya untuk mengurangi ketukan pada mesin kendaraan. Di Indonesia bensin yang mengandung timbal masih umum digunakan. Unsur Br digunakan sebagai komponen pencampur dalam bensin bertimbal untuk mengeluarkan sisa timbal dari silinder mesin (12). Dengan demikian keberadaan unsur Pb dan Hg dapat menjadi penanda sumber kendaraan bermotor.

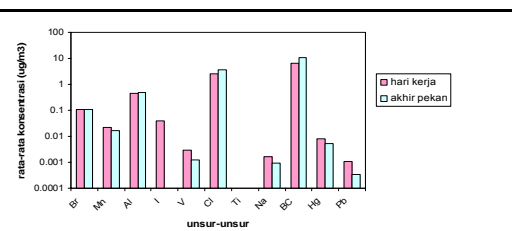
Unsur Al dan Mn merupakan unsur penanda dari sumber tanah. Manahan (12) menyebutkan bahwa unsur Al merupakan unsur yang berasal dari tanah dengan konsentrasi dalam partikulat udara dapat mencapai lebih dari 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan mangan merupakan unsur tanah terutama dalam bentuk mangan oksida. Kehadiran unsur Na dengan nilai loading yang tinggi dan diikuti dengan Cl, menandakan bahwa dalam faktor pertama ini kemungkinan

terdapat faktor campuran dari sumber pencemar, yaitu unsur tanah dan garam-garam laut (seasalt). Secara geografis, kota Bandung tidak berbatasan dengan laut, dan memiliki jarak sekitar 180 km dari garis pantai utara maupun selatan (13). Meskipun demikian, tidak menutup kemungkinan kehadiran dari unsur penanda garam-garam laut, karena pada dasarnya partikel halus dapat terdistribusi hingga mencapai ratusan hingga ribuan kilometer, bahkan dapat melintasi batas negara (14). US EPA dalam Fierro (15) juga menyebutkan bahwa jangka waktu partikulat halus dapat bertahan di udara selama beberapa hari hingga beberapa minggu. Soedomo (13) menyatakan bahwa aerosol yang berasal dari laut dapat ditransportasikan oleh angin ke daerah cekungan Bandung pada jarak yang dapat ditempuh dalam waktu kurang dari 12 jam dengan kecepatan angin minimum 4 m/s.

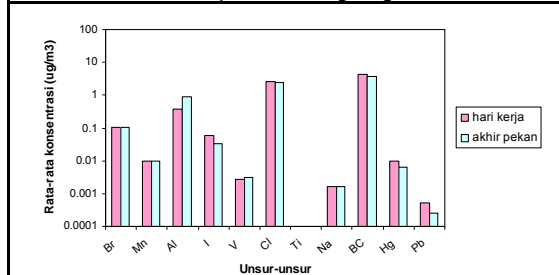
Perkiraan terhadap sumber pencemar yang berpengaruh di kawasan Aria Graha adalah unsur tanah (Al, Mn, Na), road dust (Mn, Cl), dan kendaraan bermotor (Hg, Pb). Terdapat kegiatan konstruksi bangunan dan jalan yang menghubungkan antar kompleks, di kawasan pemukiman Aria Graha ini serta di kawasan pemukiman sekitarnya, serta kawasan ini berdekatan dengan jalan raya Soekarno-Hatta sehingga dapat dipahami apabila unsur-unsur yang ditemukan ada pengaruh dari aktivitas kendaraan bermotor, juga debu dari tanah dan jalan raya tersebut.



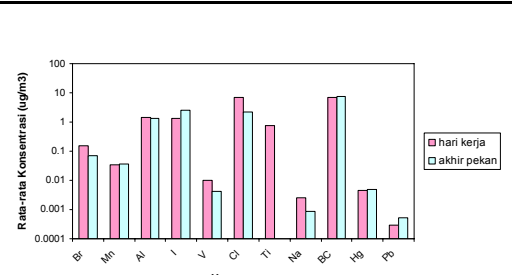
Gambar 1. Unsur-unsur kimia dalam partikulat terespirasi di Tegalega



Gambar 2. Unsur-unsur kimia dalam partikulat terespirasi di Aria Graha



Gambar 3. Unsur-unsur kimia dalam partikulat terespirasi di Dago Pakar



Gambar 4. Unsur-unsur kimia dalam partikulat terespirasi di Cisaranten Wetan

Campuran unsur tanah dan garam laut (Mn, Al, Na, Cl), sumber kendaraan bermotor (Pb, Hg), dan campuran faktor sumber pembakaran biomassa dan road dust (Mn, Cl, BC) diperkirakan menjadi sumber pencemar yang berpengaruh di Dago Pakar. Menurut Wirawan (16) bahwa unsur tanah di Dago Pakar berkontribusi sebesar 14% terhadap $PM_{2.5}$. Kehadiran unsur Cl dengan nilai loading yang cukup tinggi menunjukkan bahwa disamping unsur tanah juga ada campuran dengan unsur sea salt. Santoso et al. (4) menyebutkan bahwa faktor pembakaran biomassa untuk $PM_{2.5}$ memberikan kontribusi sekitar 39% di kawasan rural yaitu Lembang. Kawasan Dago Pakar secara garis besar mempunyai kemiripan karakteristik dengan kawasan Lembang tersebut. Sehingga untuk pembakaran biomassa dapat berpengaruh terhadap unsur-unsur yang terkandung dalam partikulat terespirasi. Sumber kendaraan bermotor juga ditemukan di

kawasan ini mengingat adanya aktivitas wisata di kawasan Tahura Dago Pakar sehingga memungkinkan keluar masuk kendaraan bermotor.

Kegiatan industri (Mn, Al, Cl, I, BC), insinerasi (Cl, Na, BC), dan pembakaran bahan bakar minyak (Pb, V) diperkirakan mempunyai pengaruh pada partikulat terespirasi di Cisaranten Wetan. Unsur V umumnya merupakan penanda dari kegiatan industri juga kegiatan pembakaran bahan bakar minyak (12). Unsur Pb selain menjadi pananda dari sumber kendaraan bermotor, juga dapat berasal dari pembakaran bahan-bahan yang mengandung timbal dan bahan bakar fosil seperti batubara yang kemungkinan digunakan pada proses industri. Kegiatan insinerasi dan pembakaran senyawa yang mengandung organoklorin kemungkinan juga ditemukan pada pabrik-pabrik di sekitar kawasan tersebut. Hal ini diindikasikan dengan adanya unsur Cl dan BC.

Kendaraan bermotor mendominasi kemungkinan sumber partikulat terespirasi di Kota Bandung. Hal tersebut diketahui dari kemungkinan faktor sumber pencemar yang berasal dari kendaraan bermotor diperoleh pada tiga dari empat lokasi penelitian. Pernyataan ini didukung dengan kajian emisi oleh Kurniawan (17) yang menyebutkan bahwa untuk parameter SPM (suspended particulate matter) kontribusi yang diberikan sumber transportasi adalah sebesar 31,9%. BPLHD (18) menyebutkan bahwa tingkat emisi untuk parameter PM_{10} dan $PM_{2,5}$ di Kota Bandung masing-masing sebesar 1.112,9 ton/tahun (PM_{10}), dan 1.030,4 ton/tahun ($PM_{2,5}$). Nilai tersebut merupakan angka tingkat emisi tertinggi untuk PM_{10} dan $PM_{2,5}$ jika dibandingkan dengan parameter yang sama di Kota Cimahi, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Sumedang.

Kontribusi sektor transportasi yang lebih dominan terhadap emisi polutan khususnya partikulat di Kota Bandung terkait dengan jumlah kendaraan yang ada. Jumlah kendaraan di Kota Bandung menempati urutan tertinggi dibandingkan dengan kota lain di wilayah cekungan Bandung yaitu Kabupaten Bandung, Sumedang, dan Kota Cimahi. Hal tersebut didasarkan pada data hasil survey Dinas Perhubungan (SAMSAT) dalam BPLHD (18). Sepeda motor merupakan kendaraan dengan jumlah tertinggi di Kota Bandung yang mencapai 355.266 unit, kendaraan penumpang (berbahan bakar premium) sebanyak 166.820, kendaraan penumpang berbahan bakar diesel sebanyak 21.733 unit, angkutan ringan (premium) sebanyak

18.433 unit, angkutan ringan (diesel) sebanyak 11.983 unit, dan angkutan berat (diesel) sebanyak 19.817 unit.

Pembakaran sampah (dapat termasuk di dalamnya pembakaran biomassa) juga diperkirakan merupakan sumber yang cukup berpengaruh dalam emisi partikulat terespirasi. Kontribusi pembakaran sampah terhadap emisi SPM di Kota Bandung sebesar 14,6%. Menurut Supriatno dalam Huboyo (19) emisi partikulat dari proses pembakaran sampah adalah sebesar 594,3 kg/hari. Santoso mengungkapkan bahwa kontribusi pembakaran biomassa terhadap $PM_{2,5}$ di kota Bandung adalah sebesar 20% (4).

Selain dari faktor kendaraan bermotor dan pembakaran biomassa, faktor tanah juga merupakan salah satu yang perlu diperhatikan sebagai faktor yang memiliki kontribusi pada sumber partikulat terespirasi di kota Bandung. Santoso (4) mengemukakan bahwa kontribusi faktor tanah dan debu jalan terhadap $PM_{2,5}$ di kota Bandung adalah sebesar 20%.

Kegiatan industri merupakan kegiatan yang kompleks dan melibatkan berbagai proses. Penggunaan bahan bakar, proses insinerasi ataupun kegiatan pembakaran bahan baku dengan suhu tinggi umumnya terdapat pada kegiatan-kegiatan industri. Kontribusi pencemaran udara di Kota Bandung untuk parameter partikulat (SPM) dari sektor industri adalah sebesar 28,6% (17). Kurniawan (17) juga menyebutkan bahwa tingkat emisi untuk partikulat paling tinggi diemisikan oleh industri tekstil yaitu sebesar 613,73 ton/tahun, kemudian industri makanan dan minuman (145,34 ton/tahun),

industri kertas, barang-barang dari kertas, dan sejenisnya (63,06 ton/tahun), industri furnitur dan pengolahan lainnya (60,20 ton/tahun). Industri tekstil dan pengolahan tekstil merupakan industri yang cukup banyak dijumpai di Kota Bandung. Di sekitar kawasan Cisaranten Wetan terdapat sekitar tujuh industri tekstil dan satu industri furnitur. Dengan demikian hal tersebut memperkuat dugaan mengenai adanya pengaruh faktor industri serta proses-proses yang terjadi di dalamnya pada sumber paparan partikulat terespirasi di kawasan industri Cisaranten Wetan.

Berdasarkan konsentrasi unsur-unsur di seluruh lokasi, unsur BC dan Cl relatif merupakan unsur tertinggi dari partikulat terespirasi, sedangkan unsur Na dan Pb relatif merupakan unsur dengan konsentrasi terendah. Komposisi BC dapat mencapai 10-40% dari fraksi massa dalam $PM_{2.5}$ [20]. Unsur Cl dan Na merupakan unsur penanda garam-garam yang berasal dari laut. Komposisi Cl yang lebih tinggi kemungkinan menunjukkan bahwa keberadaan unsur Cl di Kota Bandung tidak hanya berasal dari garam-garam laut, namun dapat juga dari aktivitas insinerasi, kegiatan industri dan proses-proses pembakaran senyawa-senyawa yang mengandung klor.

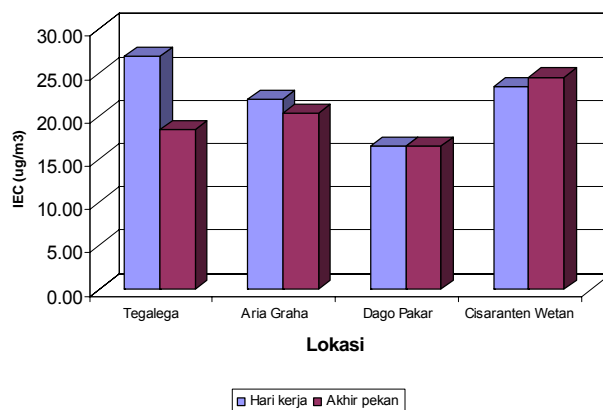
3.1. Analisis Awal Resiko Kesehatan

Konsentrasi partikulat terespirasi dan nilai IEC dari partikulat terespirasi yang diterima oleh masyarakat pada hari kerja di

masing-masing kawasan disajikan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai IEC partikulat terespirasi yang diterima masyarakat yang beraktivitas di luar ruangan di Tegalega dan Cisaranten Wetan lebih tinggi dibandingkan di Aria Graha dan Dago Pakar. Nilai IEC tertinggi pada hari kerja adalah di Tegalega sedangkan pada akhir pekan diperoleh di Cisaranten Wetan. Nilai IEC terendah untuk kedua kategori hari adalah di Dago Pakar.

Nilai IEC merepresentasikan estimasi rata-rata potensi paparan polutan yang diinhalasi selama kurun waktu 8 jam aktivitas dengan asumsi 67,8 tahun paparan yang disesuaikan dengan usia harapan hidup penduduk Indonesia. Sehingga dengan kondisi polutan partikulat terespirasi yang ada di masing-masing lokasi maka penduduk yang beraktivitas di luar ruangan dengan asumsi waktu 8 jam setiap hari sepanjang hidupnya, diperkirakan berpotensi menghirup partikulat terespirasi sebesar:

- $26,89\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap hari kerja dan $18,40\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap akhir pekan di Tegalega
- $21,93\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap hari kerja dan $20,39\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap akhir pekan di Aria Graha
- $16,56\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap hari baik hari kerja dan akhir pekan di Dago Pakar
- $23,46\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap hari kerja dan $24,50\mu\text{g}/\text{m}^3$ setiap akhir pekan di Cisaranten Wetan

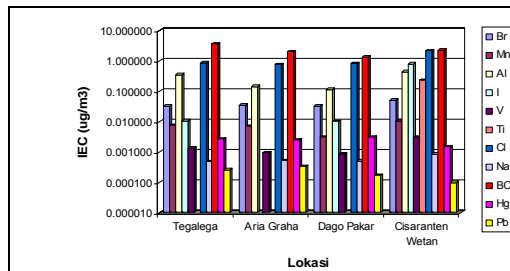


Gambar 5. IEC partikulat terespirasi

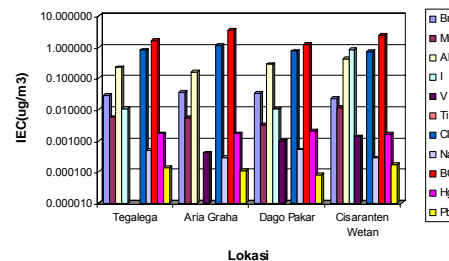
Pada Gambar 6 dan Gambar 7 disajikan pola IEC pada hari kerja dan akhir pekan berdasarkan pada rata-rata konsentrasi unsur yang terkandung dalam partikulat terespirasi di masing-masing lokasi. Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diketahui bahwa untuk hampir semua unsur baik pada hari kerja maupun akhir pekan estimasi paparan yang terhirup paling tinggi didominasi oleh Cisaranten Wetan. Hal ini disebabkan rata-rata konsentrasi sebagian besar unsur-unsur di kawasan ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan di kawasan lainnya. Estimasi paparan yang terhirup dari unsur-unsur dalam partikulat terespirasi terendah untuk sebagian besar unsur diperoleh di Dago Pakar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di kawasan Tegalega pada hari kerja dan Cisaranten Wetan berpotensi terpapar polutan partikulat terespirasi lebih tinggi dibandingkan penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di Aria Graha dan Dago Pakar. Untuk sebagian besar unsur-unsur kimia yang diidentifikasi, penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di Cisaranten Wetan berpotensi terpapar

lebih tinggi dibandingkan dengan penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di Tegalega, Aria Graha, dan Dago Pakar.

Hasil penelitian sebelumnya mengenai $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} di Tegalega, Aria graha, Dago Pakar, dan Cisaranten Wetan menunjukkan bahwa di sebagian besar lokasi di Kota Bandung kondisi $\text{PM}_{2.5}$ udara ambien belum melampaui baku mutu harian (21). Namun demikian hal ini tidak dapat dijadikan patokan bahwa kualitas udara di Kota Bandung selalu dikatakan baik, melainkan perlu dijadikan suatu peringatan dini untuk melihat konsentrasi tersebut dalam pemantauan jangka panjang agar dapat dilihat dan dibandingkan dengan baku mutu tahunan. Kecenderungan beban emisi yang terus meningkat serta kondisi topografi Kota Bandung yang dikategorikan tidak berventilasi baik (13) memungkinkan terjadinya penurunan kualitas udara Kota Bandung dari waktu ke waktu. Oleh karena itu diharapkan pemantauan dan penelitian mengenai kualitas udara di Kota Bandung khususnya kondisi yang diterima masyarakat sebagai reseptor penting untuk dilakukan secara intensif dan menerus.



Gambar 6. IEC unsur-unsur kimia pada hari kerja



Gambar 7. IEC unsur-unsur kimia pada akhir pekan

Secara umum arah angin di Kota Bandung didominasi dari arah barat menuju arah timur sehingga dimungkinkan terjadinya *transboundary* polutan. Hal tersebut dapat menjelaskan fenomena diperolehnya dominasi konsentrasi unsur-unsur dalam partikulat terespirasi lebih tinggi di Cisaranten Wetan dibandingkan dengan kawasan lainnya dan memungkinkan bahwa kehadiran unsur pencemar tidak hanya berasal dari sumber-sumber lokal melainkan dapat berasal dari sumber di kawasan lain.

Konsentrasi unsur Pb yang diterima oleh masyarakat dalam penelitian ini relatif masih sangat kecil, hal tersebut dapat dijelaskan karena sejak Juli 2006 kota Bandung telah menggunakan bahan bakar tanpa timbal. Namun demikian konsentrasi Pb di udara terutama yang diterima masyarakat sebagai reseptor perlu dipantau secara intensif dan kontinyu, sebab kenaikan konsentrasi Pb baik di udara maupun yang terhirup oleh masyarakat dapat terakumulasi dalam tubuh serta menimbulkan dampak yang cukup berbahaya bagi kesehatan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian

tentang paparan partikulat terespirasi ini, maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Paparan partikulat terespirasi tertinggi diperoleh di Tegalega pada hari kerja dan Cisaranten Wetan pada akhir pekan. Paparan terendah diperoleh di Dago Pakar sebagai kawasan bersih pada hari kerja maupun akhir pekan.
2. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam partikulat terespirasi di seluruh lokasi adalah unsur Br, Mn, Al, I, V, Cl, Ti, Na, Hg, Pb, dan *black carbon* (BC). Sebagian besar konsentrasi tertinggi dari unsur-unsur tersebut diperoleh di kawasan industri Cisaranten Wetan. Unsur Cl dan BC menempati komposisi tertinggi dari keseluruhan unsur yang diidentifikasi dalam partikulat terespirasi, sedangkan unsur Na dan Pb menempati komposisi terendah.
3. Sumber pencemar yang diperkirakan berpengaruh terhadap paparan partikulat terespirasi di kawasan Tegalega adalah tanah, kendaraan bermotor, garam laut, dan pembakaran biomassa. Perkiraan terhadap sumber pencemar yang berpengaruh di kawasan Aria Graha adalah tanah, *road*

dust, dan kendaraan bermotor. Campuran unsur tanah dan garam laut, sumber kendaraan bermotor, dan campuran faktor sumber pembakaran biomassa dan *road dust* diperkirakan menjadi sumber pencemar yang berpengaruh di Dago Pakar. Kegiatan industri, insinerasi, dan pembakaran minyak diperkirakan mempunyai pengaruh dominan pada partikulat terespirasi di Cisaranten Wetan.

4. Penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di kawasan Tegalega pada hari kerja serta Cisaranten Wetan sebagai kawasan keramaian transportasi dan industri berpotensi terpapar polutan partikulat terespirasi lebih tinggi dibandingkan dengan penduduk yang beraktivitas di Aria Graha dan Dago Pakar. Untuk sebagian besar unsur-unsur kimia yang diidentifikasi, penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di Cisaranten Wetan berpotensi terpapar lebih tinggi dibandingkan dengan penduduk yang beraktivitas di luar ruangan di Tegalega, Aria Graha, dan Dago Pakar.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Cooper CD, Alley FC. Air pollution control a design approach. 2nd edition. Illionis : Waveland Press Inc; 1994.
2. Soemirat, Juli. Toksikologi lingkungan. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press; 2003
3. Mutius E Von. Air pollution and upper respiratory symptoms in children from East Germany. Eur Respir J 1995; 8: 723-8
4. Santoso M, Diah DL, Achmad H, Lenny K. Konsentrasi PM_{2,5} dan PM₁₀ udara ambien di Bandung dan Lembang tahun 2000 – 2006, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR BATAN, Bandung, 2007.
5. Bappennas. Strategi dan rencana aksi lokal kota Bandung untuk peningkatan kualitas udara perkotaan. Bandung: Bappenas; 2006
6. Foster SE. Human intake. Dalam: Toxic air pollutions hand book. Patrick DR. Van Nostrand Reinhold Editor. New York; 1994
7. Statistik Indonesia.
<http://www.datastatistik.indonesia.com>, didownload pada 14 Februari 2008
8. Koistinen K. Exposure of an urban adult Population to PM_{2,5}. Academic dissertation. University of Kuopio Finland 2002.
<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/fysi/k/vk/kousa/pm25andn.pdf>, didownload pada 2 Juni 2007
9. Garson GD. Factor analysis 2007.
<http://www.chass.ncsu.edu/garson/pa765/factor.htm> didownload pada 19 Januari 2008
10. Mauliadi YD. Identifikasi sumber pencemar partikel halus dan partikel kasar di kota Bandung menggunakan analisis faktor. Tugas akhir program sarjana Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung; 2004
11. European Commission. Mercury emissions from natural and anthropogenic sources. Dalam : Position paper on mercury 2001.
<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/p>

- [p_mercury1.pdf](#), didownload pada 24 Agustus 2007; 1-4
12. Manahan SE. Toxicological Chemistry. 2nd edition. USA: Lewis; 1992
 13. Soedomo M. Kumpulan karya ilmiah mengenai pencemaran udara. Bandung: Penerbit ITB; 2007
 14. US EPA 1999. Air quality criteria for particulate matter vol I EPA 600/P-99/0024. <http://www.epa.gov>, didownload pada 25 Desember 2007
 15. Fierro M. Particulate matter 2000. http://www.Air_updates/particulatematter-singspace.htm. didownload pada 2 Juni 2007
 16. Wirawan SMS. Penentuan kontribusi sumber pencemar dalam upaya pengendalian kualitas udara ambient di kota Bandung menggunakan metode positive matrix factorization (PMF). Tesis Program Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung; 2004
 17. Kurniawan E. Inventori emisi (Emission Inventory) pencemaran udara di kawasan cekungan Bandung. Tesis Program Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung; 2006
 18. BPLHD Provinsi Jawa Barat. Inventori emisi kendaraan bermotor di provinsi Jawa Barat. LPPM-ITB. BPLHD Jabar, Bandung; 2005
 19. Huboyo HS. Studi kontribusi sumber pencemar partikel halus dan kasar di udara ambien kawasan Bandung dengan chemical mass balance studi kasus Tegalega dan Dago Pakar. Tesis Program Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung; 2003
 20. Cohen DD. The measurement and sources of fine particle elemental carbon at several key sites in NSW over the Past Eight Years. 15th International Clean Air Conference. Sydney: 2000; 485-90
 21. Anonymous. Pemerintah Republik Indonesia. PP nomer 41 tahun 1999. Peraturan pemerintah mengenai baku mutu udara ambien nasional.